

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-060720

(43)Date of publication of application : 06.03.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01S 5/323

(21)Application number : 11-233009

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 19.08.1999

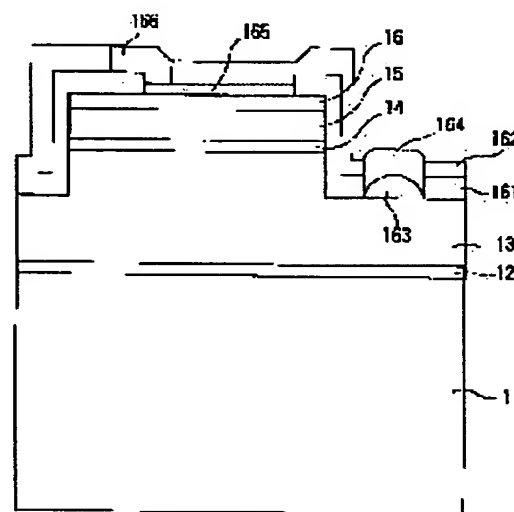
(72)Inventor : SUZUKI NOBUHIRO
SUGAWARA HIDETO

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance emission characteristics by forming a nitride semiconductor layer having a large band gap doped with p-type dopant and a nitride semiconductor layer having a small band gap alternately thereby forming a super lattice structure in a contact layer and lowering the working voltage of a light emitting element.

SOLUTION: After LED removes oxides from the surface of a sapphire substrate 11, a GaN buffer layer 12 is grown by supplying ammonia and carrier gas while cooling the sapphire substrate 11 down to 550° C. A GaN (Si doped) layer 13 is then grown by heating the substrate to 1100° C and a five layer MQW active layer 14 is grown by cooling the substrate down to 750° C. Subsequently, a p-type AlGaIn clad layer 15 is grown by heating the substrate to 950° C, an InGaIn layer and a p-type GaN layer are grown while keeping that temperature and a super lattice contact layer 16 is formed by alternately growing fifty layers respectively. Thereafter, the substrate is cooled down to room temperature and taken out, an n-side electrode 163 and a p-side electrode 165 are formed thereon and the surface is coated with a protective film 162.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-60720
(P2001-60720A)

(43) 公開日 平成13年3月6日 (2001.3.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 1
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 5/323	5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-233009

(22) 出願日 平成11年8月19日 (1999.8.19)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 鈴木 伸 洋

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター

(72) 発明者 菅 原 秀 人

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター

(74) 代理人 100064285

弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

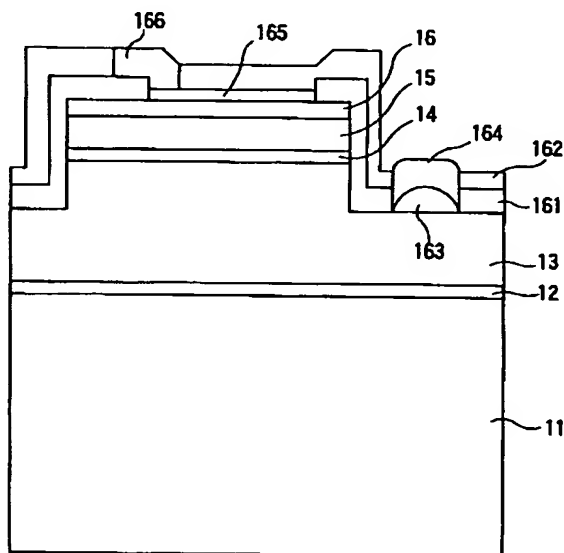
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 動作電圧を低減し、汎用されている電源電圧を用いて安定に動作可能な窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。

【解決手段】 バンドギャップの大きい窒化物半導体層とバンドギャップの小さい窒化物半導体層とを交互に積層させた超格子構造を有し、p型ドーパントがバンドギャップの大きい窒化物半導体層に選択的にドーパされているコンタクト層を用いる。窒化物半導体においては、Al組成を上昇させてバンドギャップを大きくした結晶は硬度が高く、In組成を上昇させてバンドギャップを小さくした結晶は硬度が低い。硬度の低い窒化物半導体層は緩衝層として結晶の歪みを緩和し結晶性を改善する役割を有する。そして、本発明においては、このような軟らかい半導体層をノンドープとすることにより、結晶性の劣化を防ぎ、緩衝層としての作用を十分に発揮させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物半導体からなるコンタクト層と、前記コンタクト層の表面に接触して設けられたp側電極と、

を備えた半導体発光素子であって、

前記コンタクト層は、バンドギャップの大きい窒化物半導体層とバンドギャップの小さい窒化物半導体層とを交互に積層させた超格子構造を有し、p型ドーパントが前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層に選択的にドーピングされていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層は、Ga₂Nからなり、

前記バンドギャップの小さい窒化物半導体層は、InGa₂Nからなり、

p型ドーパントが前記Ga₂N層に選択的にドーピングされていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】前記InGa₂NにおいてInがIII族元素全体に占める割合は、0原子%よりも大きく20原子%よりも小さいことを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層は、AlGa₂Nからなり、

前記バンドギャップの小さい窒化物半導体層は、Ga₂Nからなり、

p型ドーパントが前記AlGa₂Nに選択的にドーピングされていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記AlGa₂N層においてAlがIII族元素全体に占める割合は、0原子%よりも大きく20原子%よりも小さいことを特徴とする請求項4記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層は、In_xGa_{1-x}Nからなり、

前記バンドギャップの小さい窒化物半導体層は、In_yGa_{1-y}N（但し、x<y）からなり、

p型ドーパントが前記In_xGa_{1-x}Nに選択的にドーピングされていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層は、AlGa₂Nからなり、

前記バンドギャップの小さい窒化物半導体層は、InGa₂Nからなり、

p型ドーパントが前記AlGa₂Nに選択的にドーピングされていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項8】前記p型ドーパントは、Mg（マグネシウム）、Zn（亜鉛）及びC（炭素）からなる群から選ばれたいずれかであることを特徴とする請求項1～7のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項9】前記p型ドーパントはMg（マグネシウ

ム）であり、そのドーピング濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上で $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項1～7のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記p側電極は、酸化物を含むことを特徴とする請求項1～9のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体発光素子に関し、特に、Ga₂N、AlGa₂N、InGa₂N、InGaAl₂Nなどの窒化物半導体からなり、動作電圧を従来よりも低減することができる半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】Ga₂Nなどの窒化物半導体は、ほぼすべての混晶比において直接遷移型のバンド構造を有していることが予測され、この材料系を用いた発光ダイオード（light emitting diode: LED）や半導体レーザー（laser diode: LD）などの発光素子は、短波長領域において高い発光効率を得られることが期待されている。

【0003】なお、本願において「窒化物半導体」とは、In_yAl_xGa_{1-y-z}N（0 ≤ y ≤ 1、0 ≤ z ≤ 1）なる組成式で表現されるすべての組成のII-V族化合物半導体を含み、さらに、V族元素としては、Nに加えてリン（P）や砒素（As）などを含有する混晶も含むものとする。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】窒化物系の発光素子は、活性層にInGa₂N又はGa₂Nを用い、活性層からのキャリアのオーバーフローを抑えるためにAl_yGa_{1-y}N（0 < y < 0.5）のクラッド層を用いる場合が多い。キャリアのオーバーフローを効果的に抑えるためには、少なくとも10%程度のAl組成が必要である。しかし、Al組成を上げると、p側電極とのオーミック接触を確保することが困難になり、動作電圧が上がるという問題があった。

【0005】動作電圧を低減させる方法として、AlGa₂Nクラッド層の上にMgをドーピングしたp型Ga₂Nまたはp型InGa₂Nコンタクト層を形成する方法が特開平6-268259号公報及び特開平9-289351号に記載されている。

【0006】図7は、このようなコンタクト層を備えたLEDを例示した概略断面図である。

【0007】すなわち、同図のLEDにおいては、サファイア基板111の上にバッファ層112を介して、n型Ga₂N層113、活性層114、p型AlGa₂Nクラッド層115、p型Ga₂Nコンタクト層116が順に積層されている。

【0008】n型Ga₂N層113の上には、n側電極163、ボンディングパッド164が形成され、p型Ga₂Nコンタクト層116の上には、p側電極165、ボン

ディングパッド166が形成されている。また、素子の表面は、保護膜161、162により覆われている。

【0009】図7に表された構成によれば、p型Ga_{0.5}N_{0.5}コンタクト層に電極165を接触させてオーミック接触を確保することにより、動作電圧をある程度下げることができる。

【0010】一方、p型コンタクト層の表面付近のマグネシウム(Mg)濃度を高くして電極との接触抵抗をさらに低減しようとする試みが特許第2666237号に記載されている。

【0011】しかし、これらのいずれの方法によっても、発光素子の動作電圧は3.5ボルト程度と高いという問題があった。

【0012】さらに素子の動作電圧を下げる別の方法として、マグネシウムをドーピングしたp型InGa_{0.5}N_{0.5}コンタクト層を用いる方法が特開平9-289351号公報に記載されている。すなわち、Ga_{0.5}N_{0.5}の代わりにInGa_{0.5}N_{0.5}を用いた場合のほうがp側電極ととの間の価電子帯のポテンシャルバリアが下がり、素子の動作電圧を下げるということができるといえる。しかし、実際には、InGa_{0.5}N_{0.5}はGa_{0.5}N_{0.5}と比べてp型化しにくいという問題がある。その結果として、この方法を用いた発光素子は全く実用化されていない。

【0013】本発明は、かかる課題の認識に基づいてなされたものである。すなわち、その目的は、動作電圧を低減し、汎用されている電源電圧において安定に動作可能な窒化物半導体発光素子を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明の半導体発光素子は、窒化物半導体からなるコンタクト層と、前記コンタクト層の表面に接触して設けられたp側電極と、を備えた半導体発光素子であって、前記コンタクト層は、バンドギャップの大きい窒化物半導体層とバンドギャップの小さい窒化物半導体層とを交互に積層させた超格子構造を有し、p型ドーパントが前記バンドギャップの大きい窒化物半導体層に選択的にドーピングされていることを特徴とする。

【0015】超格子構造に選択的にドーピングを施す場合には、バンドギャップの小さい方の結晶層に選択的にドーピングを行うことが通常である。しかし、窒化物半導体においては、Al(アルミニウム)組成を上昇させてバンドギャップを大きくした結晶は硬度が高く、In(インジウム)組成を上昇させてバンドギャップを小さくした結晶は硬度が低いという特徴を有する。このため、この材料系においては、バンドギャップの大きい結晶すなわち硬度の高い結晶の方にドーピングを行うことが効果的となる。

【0016】すなわち、硬度の低い窒化物半導体層は緩衝層として結晶の歪みを緩和し結晶性を改善する役割を有する。そして、本発明においては、このような軟

かい半導体層をノンドーピングとすることにより、結晶性の劣化を防ぎ、緩衝層としての作用を十分に発揮させることができる。

【0017】具体的には、例えば、前記硬度の高い窒化物半導体層としてGa_{0.5}N_{0.5}を採用し、前記硬度の低い窒化物半導体層としてInGa_{0.5}N_{0.5}を採用することができる。この場合には、p型ドーパントはGa_{0.5}N_{0.5}層に選択的にドーピングする。

【0018】従って、軟らかいInGa_{0.5}N_{0.5}層をノンドーピングとすることにより、緩衝層として十分に作用させることができ、半導体発光素子の動作電圧を効果的に低下させることが可能となる。

【0019】また、この具体例においては、前記InGa_{0.5}N_{0.5}においてInがIII族元素全体に占める割合は、0原子%よりも大きく20原子%よりも小さいものとするのが望ましい。Inの添加により緩衝層としての作用が得られるのであるが、添加量が多すぎると、逆に結晶性が劣化するからである。

【0020】また、超格子構造の他の具体例としては、前記バンドギャップの大きいすなわち硬度の高い窒化物半導体層として、AlGa_{0.5}N_{0.5}を採用し、前記バンドギャップの小さいすなわち硬度の低い窒化物半導体層として、Ga_{0.5}N_{0.5}を採用しても良い。この場合には、p型ドーパントは前記AlGa_{0.5}N_{0.5}に選択的にドーピングする。

【0021】従って、相対的に軟らかいGa_{0.5}N_{0.5}層をノンドーピングとすることにより、緩衝層として十分に作用させることができ、半導体発光素子の動作電圧を効果的に低下させることが可能となる。

【0022】また、他の具体例としては、互いに組成の異なるInGa_{0.5}N_{0.5}層同士により超格子構造を形成しても良く、AlGa_{0.5}N_{0.5}層とInGa_{0.5}N_{0.5}層により超格子構造を形成しても良い。いずれの場合にも、相対的に軟らかい結晶層にp型ドーパントをドーピングする。

【0023】一方、前記p型ドーパントとしては、Mg(マグネシウム)、Zn(亜鉛)またはC(炭素)を用いることができる。

【0024】p型ドーパントがMg(マグネシウム)の場合には、そのドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上で $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが望ましい。

【0025】一方、p側電極は、ITOなどの酸化物を含むものでも良い。特に、AlGa_{0.5}N_{0.5}層とGa_{0.5}N_{0.5}層との超格子によりコンタクト層を形成した場合には、ITO層を有するp側電極に対して良好な結果が得られる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0027】(第1の実施の形態)図1は、本発明の第1の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中31はサファイア基板、32はGa_{0.5}N_{0.5}パッ

ファ層、33はn型Ga_{0.9}N(Siドープ)層、34は5層MQW型InGa_{0.5}N活性層、35はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドープ)層、36は、超格子コンタクト層である。

【0028】ここで、超格子コンタクト層は、p側電極165に対して接触する半導体層であり、硬度の高い窒化物半導体層と硬度の低い窒化物半導体層とを交互に積層させた超格子構造を有し、p型ドーパントが前記硬度の高い窒化物半導体層に選択的にドーパされている。超格子コンタクト層36は、具体的には、例えば、In_{0.5}Ga_{0.5}N/GaN(Mgドープ)変調ドーパ超格子構造とすることができる。

【0029】図1のLEDの構成をその製造方法に沿って概説すると以下の如くである。

【0030】まず、水素ガスを流しながらサファイア基板11を1100℃で10分間加熱し、基板表面の酸化物を除去する。次に、基板11を550℃まで冷却し、TMG(トリメチルガリウム)、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚100nmのGa_{0.9}Nバッファ層12を成長させる。

【0031】次に、基板の温度を1100℃に加熱し、TMG、SiH₄、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚4nmのn型Ga_{0.9}N(Siドープ)層13を成長させる。

【0032】次に、基板の温度を750℃まで冷却し、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニア及びキャリアガスを流して、5層MQW型活性層14を成長させる。ここで、活性層14は、膜厚3nmのInGa_{0.5}Nウエル層と膜厚6nmのGa_{0.5}Nバリア層を5層ずつ交互に積層させた構造を有する。また、ここで活性層14にドーピングを行っても良い。

【0033】次に、基板を950℃に加熱し、TMG、TMA(トリメチルアルミニウム)、Cp2Mg、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚200nmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドープ)クラッド層15を成長させる。なお、このクラッド層のMg濃度は、例えば $5.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0034】次に、基板の温度を950℃に保ったまま、超格子コンタクト層16を成長させる。具体的には、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚3nmのInGa_{0.5}N層を成長させ、TMG、アンモニア、Cp2Mg及びキャリアガスを流して膜厚3nmのp型Ga_{0.9}N(Mgドープ)層を成長させる。これらの層を例えば50層ずつ交互に成長させることにより超格子コンタクト層16を形成することができる。ここで、Ga_{0.5}N層のMg濃度は、例えば $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0035】次に、基板を室温まで冷却して取り出し、図1に示したように積層構造の一部を表面からn型コン

タクト層13までエッチングして、n側電極163を形成する。また、p型コンタクト層16の上には透光性を有するp側電極165を形成する。さらに、素子の表面を保護膜161で覆い、電極にボンディングパッド164、166を接続し、さらに素子の表面を保護膜162で覆うことにより、LEDが完成する。

【0036】なお、透光性を有するp側電極165としては、例えば、金属系のNi(ニッケル)/Au(金)/Ni積層膜や、酸化物/金属系のITO(indium tin oxide)/Niなどを採用することができる。

【0037】このようにして試作したLEDは、順方向電流If=20mAの条件において、順方向電圧Vf=3.2ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.3mWであった。

【0038】これに対して、本発明者は、比較例として、図1の構成においてコンタクト層16としてMg濃度が $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で厚さが0.30μmのp型Ga_{0.9}N(Mgドープ)層とする以外は前述した本発明の素子と同様の構成を有するLEDを試作してその特性を評価した。

【0039】その結果、比較例の素子は、If=20mAにおいて、Vf=3.7ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.1mWであった。

【0040】すなわち、本発明の発光素子は、比較例の発光素子よりも動作電圧を低減し、発光出力も改善することができた。

【0041】本発明において、超格子コンタクトを用いることにより動作電圧を低減することができた理由としては、大きく分けて以下の3つが考えられる。

【0042】第1の理由として、p側電極とp型コンタクト層との間の価電子帯のポテンシャルバリアの低減が考えられる。単純にこれを利用しようとした発明としては、前述したように、InGa_{0.5}Nからなる単層をコンタクト層とする方法が特開平9-289351号に記載されている。しかし、実際にはInGa_{0.5}MはGa_{0.5}Nに比べてp型化しづらいために十分な効果は得られていなかった。これに対して、本発明のように高濃度pドーパのGa_{0.9}N層とノンドープのInGa_{0.5}N層とを交互に成長させることにより、p型化が比較的容易なGa_{0.9}Nのメリットと、電極との間の価電子帯のポテンシャルバリアが低減するInGa_{0.5}Nのメリットの両方を生かすことが出来たと考えられる。

【0043】第2の理由として、結晶性の向上が考えられる。すなわち、InGa_{0.5}NはGa_{0.5}Nに比べて結晶が軟らかいため、Ga_{0.5}N層との超格子構造においては緩衝層として作用し、貫通転位やクラックなどの結晶欠陥を減少させて結晶性を向上させる効果があると考えられる。但し、InGa_{0.5}Nの結晶自体は劣化しやすく、高濃度のドーピングを行うと結晶が顕著に劣化する。従って、I

nGa_{0.9}N層にMgをドーピングすると結晶性が劣化して緩衝層としての効果がなくなってしまう。また、前述した特開平9-289351号のようにp型ドーパントを高濃度にドーピングするとInGa_{0.9}Nの結晶性が悪化してしまい、電圧低下効果は発揮できないし、p側電極の形成も困難となる。

【0044】これに対して、本発明においてはGa_{0.9}Nバリア層にMgを選択的にドーピングしてInGa_{0.9}N層との超格子構造を形成することにより、InGa_{0.9}Nの緩衝層としての効果を十分に発揮させることができたと考えられる。

【0045】第3の理由として、有効キャリア濃度とキャリア移動度の上昇が考えられる。すなわち、InGa_{0.9}Nにp型ドーパントをドーピングしても十分にp型化させることは困難である。これに対して、本発明においては、Ga_{0.9}Nへの変調ドーピングによりp型ドーパントを十分に活性化させ、有効キャリア濃度を十分に高くすることができる。さらに、変調ドーピングにより不純物散乱を十分に抑えることが可能になり、高い移動度を持つ正孔キャリアを得ることができたと考えられる。

【0046】ここで、本発明の超格子コンタクト層においては、InGa_{0.9}Nウエル層のIn組成が高すぎると結晶が悪化してしまうので、In組成は20%未満とすることが望ましく10%未満とすることがさらに望ましい。但し、原理的には、少しでもInが入っていれば、前記した結晶性向上効果が現れると考えられる。

【0047】また、超格子コンタクト層の形成に際して、最後に成長させる層をInGa_{0.9}N層とGa_{0.9}N(Mgドーピング)層のどちらにしても素子特性に違いは見られなかった。つまり、p側電極165に接触する超格子コンタクト層16の最上層は、InGa_{0.9}N層でもGa_{0.9}N層でも良い。これは、超格子構造の場合には、ウエル層とバリア層との平均的なポテンシャルを全体として有するためであると考えられる。

【0048】一方、Ga_{0.9}Nバリア層に対するMgのドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ が良い。ドーピング濃度が高すぎると結晶が悪化し、低すぎるとp型化が十分でないからである。

【0049】(第2の実施の形態)図2は、本発明の第2の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中21はGa_{0.9}N基板、22はGa_{0.9}Nバッファ層、23はn型Ga_{0.9}N(Siドーピング)層、24は5層MQW型InGa_{0.9}N活性層、25はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドーピング)層、26はIn_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_{0.9}N(Mgドーピング)変調ドーピング超格子コンタクト層である。

【0050】図2のLEDの構成をその製造方法に沿って概説すると以下の如くである。

【0051】まず、水素ガスを流しながらGa_{0.9}N基板2

1を1100℃で10分間加熱し、基板表面の酸化物を除去する。次に、基板21を550℃まで冷却し、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚100nmのGa_{0.9}Nバッファ層22を成長させる。

【0052】次に、基板の温度を1100℃に加熱し、TMG、SiH₄、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚4nmのn型Ga_{0.9}N(Siドーピング)層23を成長させる。

【0053】次に、基板の温度を750℃まで冷却し、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して、5層MQW型活性層24を成長させる。ここで、活性層24は、膜厚3nmのInGa_{0.9}Nウエル層と膜厚6nmのGa_{0.9}Nバリア層を5層ずつ交互に積層させた構造を有する。また、ここで活性層にドーピングを行っても良い。

【0054】次に、基板を950℃に加熱し、TMG、TMA、Cp2Mg、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚200nmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドーピング)クラッド層25を成長させる。なお、このクラッド層のMg濃度は、例えば $5.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0055】次に、基板の温度を950℃に保ったまま、超格子コンタクト層26を成長させる。具体的には、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚3nmのInGa_{0.9}Nウエル層を成長させ、TMG、アンモニア、Cp2Mg及びキャリアガスを流して膜厚3nmのp型Ga_{0.9}N(Mgドーピング)層を成長させる。これらの層を例えば50層ずつ交互に成長させることにより超格子コンタクト層36を形成することができる。ここで、Ga_{0.9}N層のMg濃度は、例えば $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0056】次に、基板を室温まで冷却して取り出し、電極形成工程を実施する。図2に例示した発光素子は、p型コンタクト層26の上の全面にp側電極175が形成されている。そして、Ga_{0.9}N基板21の裏面側には透光性を有するn側電極173が形成され、ボンディングパッド174が接続されている。さらに、素子の裏面は保護膜171、172により覆われている。

【0057】基板としてサファイアを用いた場合には導電性がないが、Ga_{0.9}N基板21は導電性を有するため、本実施形態のように基板の裏面側に電極を設けることが可能となる。さらに、本実施形態のように、基板の裏面側の電極を透光性の電極として、裏面側から光を取り出すこともできる。

【0058】このようにして試作したLEDは、If=20mAでVf=2.9ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.5mWであった。

【0059】比較例として、図2の構成においてコンタクト層をMg濃度 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で厚さが

0. $30\mu\text{m}$ のp型Ga_{0.9}N層とした素子を試作して評価した。この比較例の素子の特性は、 $I_f = 20\text{mA}$ で $V_f = 3.7$ ボルト、発光ピーク波長 450nm の青色発光を示し、発光出力は 3.3mW であった。

【0060】本実施形態においては、順方向電圧 V_f が2.9ボルトと顕著に低減した。特に、順方向電圧が3ボルトを下回ることにより、汎用の電池を電源とした動作が可能となり、各種の携帯機器に搭載が容易となる点でこの電圧低減効果は、劇的である。

【0061】本実施形態において電圧低減効果が特に顕著に現れた理由としては、主に以下の2つが考えられる。

【0062】第1の理由として、p側電極175を全面電極としたことが挙げられる。すなわち、窒化物半導体素子の場合には、n側と比較して、特にp側のコンタクト抵抗を下げるのが難しい。これに対して、本実施形態においては、p型コンタクト層26とp側電極175とを全面で接触させることができる。しかも、p側からは光を取り出さない構造であるので、接触抵抗が低くなるような電極材料を十分に厚く形成することができる。前述したように、サファイア基板ではこのような構造をとることは困難である。

【0063】第2の理由として、結晶性の向上に伴うp型キャリアの移動度の向上や活性化率の向上を挙げることができる。すなわち、サファイア基板の上にエピタキシャル成長させた場合と比べてGa_{0.9}N基板の上に窒化物半導体層を成長させた場合のほうが貫通転位などの結晶欠陥が少ない。その結果として、エピタキシャル層の結晶性が改善され、キャリアの移動度や活性化率が上昇して素子抵抗が低下したことが考えられる。

【0064】(第3の実施の形態)図3は、本発明の第3の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中31はSiC基板、32はAlNバッファ層、33はn型Ga_{0.9}N(Siドープ)層、34はn型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Siドープ)層、35はGa_{0.9}N(Si、Znドープ)活性層、36はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドープ)層、37はIn_{0.02}Ga_{0.98}N/Ga_{0.9}N(Mgドープ)変調ドープ超格子コンタクト層である。

【0065】図3のLEDの構成をその製造方法に沿って概説すると以下の如くである。

【0066】まず、水素ガスを流しながらSiC基板31を 1100°C で10分間加熱し、基板表面の酸化物を除去する。次に、基板31を 600°C まで冷却し、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚 30nm のAlNバッファ層32を成長させる。

【0067】次に、基板の温度を 1100°C に加熱し、TMG、SiH₄、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚 4nm のn型Ga_{0.9}N(Siドープ)層33を成長

させる。

【0068】次に、基板の温度を 1100°C に保ったまま、TMG、TMA、アンモニア及びキャリアガスを流して、膜厚 30nm のn型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Siドープ)層34を成長させる。

【0069】次に、基板の温度を 1100°C に保ったまま、TMG、アンモニア、Zn(CH₃)₂、SiH₄及びキャリアガスを流して、膜厚 40nm のGa_{0.9}N(Si、Znドープ)活性層35を成長させる。

【0070】次に、基板を 1100°C に保ったまま、TMG、TMA、Cp₂Mg、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚 60nm のp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N(Mgドープ)クラッド層36を成長させる。なお、このクラッド層のMg濃度は、例えば $5.0 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とすることができる。

【0071】次に、基板の温度を 900°C に冷却し、超格子コンタクト層36を成長させる。具体的には、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚 3nm のIn_{0.02}Ga_{0.98}N層を成長させ、TMG、アンモニア、Cp₂Mg及びキャリアガスを流して膜厚 3nm のp型Ga_{0.9}N(Mgドープ)層を成長させる。これらの層を例えば50層ずつ交互に成長させることにより超格子コンタクト層57を形成することができる。ここで、Ga_{0.9}N層のMg濃度は、例えば $2.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ とすることができる。

【0072】次に、基板を室温まで冷却して取り出し、電極形成工程を実施する。図3に例示した発光素子は、基板31の裏面全面にn側電極83が設けられ、p型コンタクト層37の上に透光性を有するp側電極185が形成されている。さらに、p側電極185にはボンディングパッド186が接続されて、素子の表面は、保護膜181、182により覆われている。p側電極185としては、金属系のNi/Au/Ni、酸化物/金属系のITO/Niなどを用いることができる。

【0073】このようにして試作したLED素子は、 $I_f = 20\text{mA}$ で $V_f = 3.3$ ボルト、発光ピーク波長 430nm の青紫色発光を示し、発光出力は 1.5mW であった。

【0074】比較例として、図3の構成において、コンタクト層をMg濃度が $2.0 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ のp型Ga_{0.9}N(Mgドープ)層とした素子を試作した。この比較例の素子の特性は、 $I_f = 20\text{mA}$ で $V_f = 4.0$ ボルト、発光ピーク波長 430nm の青紫色発光を示し、発光出力は 1.5mW であった。

【0075】図3に例示したように、活性層にInを含ませず、クラッド層のAl組成を高くしたような素子の場合には、比較例の評価結果からも分かるように、動作電圧が高くなりやすい。しかし、このような構造の素子においても、InGa_{0.9}N/Ga_{0.9}N(Mgドープ)変調ドープ超格子コンタクト層を用いることによって動作電圧

を大幅に下げることができた。

【0076】一方、SiC基板の場合にはサファイア基板の場合と比べて貫通転位の減少はそれほど認められない。つまり、エピタキシャル成長層は、一定の結晶欠陥を有するのであるが、本実施形態においては、素子ごとの動作電圧のバラツキは少なかった。これは、第1実施形態に関して前述した第2の理由によるものと推測される。つまり、超格子コンタクト層を用いると、InGa

N層が軟らかいために結晶歪みを緩和してコンタクト層の結晶性が改善され、接触抵抗が低下して動作電圧のバラツキも少なくなることが考えられる。

【0077】(第4の実施の形態)図4は、本発明の第4の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中41はサファイア基板、42はGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層、43はn型Ga_{0.9}N_{0.1}(Siドープ)層、44は5層MQW型InGa_{0.9}N_{0.1}活性層、45はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}(Mgドープ)層、46はIn_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}/Ga_{0.9}N_{0.1}(Znドープ)変調ドープ超格子コンタクト層である。

【0078】図4のLEDの構成及びその製造方法は、第1実施形態に関して前述したものと同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。但し、本実施形態においては、超格子コンタクト層46のGa_{0.9}N_{0.1}層に対して、Mg(マグネシウム)の代わりにZn(亜鉛)をドープする。すなわち、Ga_{0.9}N_{0.1}層の成長に際して、ドーパントガスとして例えばZn(CH₃)₂を供給することによりZnをドープすることができる。また、Ga_{0.9}N_{0.1}層におけるZnの濃度は例えば、 $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0079】本実施形態のLEDは、順方向電流If=20mAの条件において、順方向電圧Vf=3.4ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.0mWであった。

【0080】これに対して、比較例として、図1の構成においてコンタクト層46としてZn濃度が $1.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で厚さが0.30μmのp型Ga_{0.9}N_{0.1}(Znドープ)層とする以外は前述した本発明の素子と同様の構成を有するLEDを試作してその特性を評価した。この比較例の素子の特性は、If=20mAでVf=4.0ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は2.8mWであった。

【0081】本実施形態においても、Znを変調ドープした超格子コンタクト層を採用することにより、素子の動作電圧を効果的に低減することができた。

【0082】(第5の実施の形態)図5は、本発明の第5の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中51はサファイア基板、52はGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層、53はn型Ga_{0.9}N_{0.1}(Siドープ)層、54はn

型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}(Siドープ)層、55はGa_{0.9}N_{0.1}(Si、Znドープ)活性層、56はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}(Mgドープ)層、57はIn_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}/Ga_{0.9}N_{0.1}(Cドープ)変調ドープ超格子コンタクト層である。

【0083】図5のLEDの構成及びその製造方法は、第1実施形態あるいは第3実施形態に関して前述したものと同様とすることができる。すなわち、n型Ga_{0.9}N_{0.1}層53までの成長手順は、第1実施形態に関して前述したものと概略同様であり、これ以降は、第3実施形態に関して前述したものと概略同様とすることができる。従って、これらの詳細な説明は省略する。

【0084】但し、本実施形態においては、超格子コンタクト層57のGa_{0.9}N_{0.1}層に対して、C(炭素)をドープする。この際の成長温度は、例えば900℃とし、ドーピングガスとしては、例えばCBr₄を用いることができる。また、C(炭素)をドープする方法としては、V族原料ガスとIII族原料ガスの流量比を調節することによって、「オートドーピング」現象を利用または併用としても良い。また、超格子コンタクト層を構成するGa_{0.9}N_{0.1}層のC濃度は、例えば $2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とすることができる。

【0085】本実施形態のLEDは、順方向電流If=20mAの条件において、順方向電圧Vf=3.4ボルト、発光ピーク波長430nmの青色発光を示し、発光出力は1.4mWであった。

【0086】これに対して、比較例として、図1の構成においてコンタクト層46としてC濃度が $2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ で厚さが0.30μmのp型Ga_{0.9}N_{0.1}(Cドープ)層とする以外は前述した本発明の素子と同様の構成を有するLEDを試作してその特性を評価した。この比較例の素子の特性は、If=20mAでVf=4.0ボルト、発光ピーク波長430nmの青色発光を示し、発光出力は1.4mWであった。

【0087】以上説明したように、C(炭素)を変調ドープした超格子コンタクト層を採用することによっても、発光素子の動作電圧を効果的に低減することができた。

【0088】(第6の実施の形態)図6は、本発明の第6の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。すなわち、同図はLEDの断面構造を例示し、図中61はサファイア基板、62はGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層、63はn型Ga_{0.9}N_{0.1}(Siドープ)層、64は5層MQW型InGa_{0.9}N_{0.1}活性層、65はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}(Mgドープ)層、66はGa_{0.9}N_{0.1}/Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}(Mgドープ)変調ドープ超格子コンタクト層である。

【0089】図6のLEDの構成をその製造方法に沿って概説すると以下の如くである。

【0090】まず、水素ガスを流しながらサファイア基

板61を1100℃で10分間加熱し、基板表面の酸化物を除去する。次に、基板61を550℃まで冷却し、TMG（トリメチルガリウム）、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚100nmのGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層62を成長させる。

【0091】次に、基板の温度を1100℃に加熱し、TMG、SiH₄、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚4nmのn型Ga_{0.9}N_{0.1}（Siドープ）層63を成長させる。

【0092】次に、基板の温度を700℃まで冷却し、TMG、TMI、アンモニア及びキャリアガスを流して、5層MQW型活性層64を成長させる。ここで、活性層14は、膜厚3nmのInGa_{0.9}N_{0.1}ウエル層と膜厚6nmのGa_{0.9}N_{0.1}バリア層を5層ずつ交互に積層させた構造を有する。また、ここで活性層にドーピングを行っても良い。

【0093】次に、基板を1000℃に加熱し、TMG、TMA、Cp2Mg、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚200nmのp型Al_{0.9}Ga_{0.1}N（Mgドープ）クラッド層65を成長させる。なお、このクラッド層のMg濃度は、例えば5.0×10¹⁹cm⁻³とすることができる。

【0094】次に、基板の温度を1000℃に保ったまま、超格子コンタクト層66を成長させる。具体的には、TMG、アンモニア及びキャリアガスを流して膜厚2nmのGa_{0.9}N_{0.1}層を成長させ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg及びキャリアガスを流して膜厚2nmのp型Al_{0.9}Ga_{0.1}N（Mgドープ）層を成長させる。これらの層を例えば50層ずつ交互に成長させることにより超格子コンタクト層66を形成することができる。ここで、Ga_{0.9}N_{0.1}層のMg濃度は、例えば1.0×10²⁰cm⁻³とすることができる。

【0095】次に、基板を室温まで冷却して取り出し、図6に示したように積層構造の一部を表面からn型層63までエッチングして、n側電極163を形成する。また、p型コンタクト層66の上には透光性を有するp側電極165を形成する。さらに、素子の表面を保護膜161で覆い、電極にボンディングパッド164、166を接続し、さらに素子の表面を保護膜162で覆うことにより、LEDが完成する。

【0096】p側電極165としてNi/Au/Niの金属系電極を用いた場合には、このLEDは、順方向電流If=20mAの条件において、順方向電圧Vf=3.5ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.2mWであった。

【0097】一方、p側電極165としてITO/Niの酸化物系電極を用いた場合には、このLEDは、順方向電流If=20mAの条件において、順方向電圧Vf=3.3ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.2mWであった。さらに、この

ような酸化物系電極を用いた場合でも、素子ごとの特性のバラツキはみられなかった。

【0098】これに対して、本発明者は、比較例として、図1の構成においてコンタクト層16としてMg濃度が1.0×10²⁰cm⁻³で厚さが0.05μmのp型Ga_{0.9}N（Mgドープ）層としたLEDを試作してその特性を評価した。その結果、比較例の素子の特性は、p側電極の種類にはあまり依存せず、If=20mAにおいて、Vf=3.7ボルト、発光ピーク波長450nmの青色発光を示し、発光出力は3.1mWであった。

【0099】すなわち、本発明によれば、AlGa_{0.9}N層とGa_{0.9}N層との変調ドープ超格子をコンタクト層に用いても、比較例の発光素子よりも動作電圧を低減することができる。この理由としては、以下の2つが挙げられる。

【0100】第1の理由として、InGa_{0.9}N/Ga_{0.9}N（Mg）超格子コンタクト層の場合と同様に結晶性の向上が考えられる。すなわち、Ga_{0.9}NはAlGa_{0.9}Nに比べて結晶が軟らかいため、AlGa_{0.9}N層との超格子においては緩衝層として作用して貫通転位やクラックなどの結晶欠陥を減少させ、結晶性を向上させる効果があると考えられる。しかし、Ga_{0.9}NにMgをドープすると、結晶性が劣化して緩衝層としての効果が少なくなってしまう。

【0101】これに対して、本発明においては、AlGa_{0.9}N層のみに選択的にドーバントをドープすることによって、Ga_{0.9}N層の緩衝層としての効果を発揮させ、結晶性が向上したと考えられる。このように、窒化物半導体の場合には、硬度の高い結晶層と硬度の低い結晶層との変調ドープ超格子において、硬度の高い結晶層にドーピングを行うことにより結晶性を向上させることができると考えられる。

【0102】すなわち、InGa_{0.9}N/AlGa_{0.9}N（Mgドープ）の変調ドープ超格子やIn_xGa_{1-x}N/I_nGa_{1-y}N（Mgドープ）（x>y）の変調ドープ超格子においても同様に本発明の効果が得られる。

【0103】第2の理由として、変調ドープにより不純物散乱を極度に抑えることが可能になり、高い移動度を持つ正孔を得ることができたことが考えられる。

【0104】本実施形態の超格子コンタクト層においては、AlGa_{0.9}N層のAl組成を20%未満とすることが望ましく、5%未満とすることがさらに望ましい。AlGa_{0.9}N層のAl組成が高すぎると動作電圧が高くなり結晶が悪化するからである。また、Al組成の下限については、少しでもAlが入っていれば効果はあるが、Al組成が少ないと障壁層としての効果が少なくなってしまうので、0.5%以上であることが望ましい。

【0105】本実施形態においては、ITO/Ni電極の場合に特に効果が表れる点も特徴的である。この理由は、必ずしも明らかではないが、Niの厚さが100nm

m程度と非常に薄く、AlGa_Nバリア層を有する超格子コンタクト層とITOとの間でトンネル電流が発生しやすくなるためであると推測される。

【0106】なお、本実施形態においても、Ga_N/AlGa_N変調ドーブ超格子コンタクト層の成長に際して最後に成長させる層をGa_N層にしてもAlGa_N層にしても、素子の特性に有意な違いは見られなかった。つまり、p側電極165と接触する層がGa_N層であっても、AlGa_N層であっても良いことが分かった。この理由は、超格子構造は、2つの異なる層の中間的特性を示すからであると考えられる。

【0107】また、本発明者は、超格子コンタクト層67において、AlGa_N層の代わりにGa_N層にMgを選択ドーブした素子も試作した。しかし、この素子においては、AlGa_N層に選択ドーブした素子ほどの動作電圧の低下はみられなかった。ドーバントの活性化率やバンドエネルギーを考えた場合には、Ga_N層にドーブしたほうが有利であるとも考えられる。しかし、実際に試作した結果によれば、AlGa_N層に選択ドーピングした方が良好な特性が得られたところから、これらの要因よりも、前述したような結晶性の維持、改善の効果の方が影響が大きいことが分かった。

【0108】以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。

【0109】例えば、本発明は、LEDだけでなく、LDにも同様に適用して同様の効果を得ることができる。さらに、これらのLEDやLDなどの半導体発光素子の具体的な構造についても、当業者が実施しうるあらゆる構造の半導体発光素子に対して本発明は同様に適用して同様の効果を得ることができる。

【0110】一方、本発明においては、超格子コンタクト層において、硬度の高い層に選択ドーブするが、ドーバントは半導体層内に拡散するので、ある程度は、硬度の低い層にも侵入する。特に、Mgは拡散が顕著であるので、硬度の低い層にも多少は侵入する傾向がある。しかし、このようにして得られた発光素子においても本発明の効果は十分に得られる。

【0111】一方、超格子コンタクト層にドーブするp型不純物としては、前述したMg、Zn、Cの他にもBe、Cd、Hgなど各種の元素を用いることが可能である。

【0112】

【発明の効果】本発明によれば、窒化物半導体からなる半導体発光素子の動作電圧を低下させ、発光特性を改善することが可能となる。

【0113】すなわち、p側電極とのコンタクト抵抗を低下させることにより、コンタクト部での発熱を抑制し、素子の温度特性を改善するとともに寿命も改善することができる。

【0114】特に、LDの場合には、注入する電流量が多いため、電極とのコンタクト部における発熱が問題となる。本発明によれば、p側電極との接触抵抗を低下させ、素子の動作電圧を下げるとともに、コンタクト部での発熱も抑制し、発光素子の温度特性を改善すると共に、素子寿命などの信頼性も大幅に改善することが可能となる。

【0115】また、半導体発光素子の動作電圧を低下させることにより、汎用の電池などを電源として半導体発光素子を容易に駆動することができるようになる。例えば、本発明によれば、発光素子の動作電圧を3ボルト以下とすることも可能である。その結果として、電池を電源とした各種の携帯機器などに窒化物半導体からなる半導体発光素子を搭載することができるようになる。

【0116】すなわち、フルカラー表示やマルチカラー表示機能を有する各種の携帯機器を実現することが可能となり産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図4】本発明の第4の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図5】本発明の第5の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

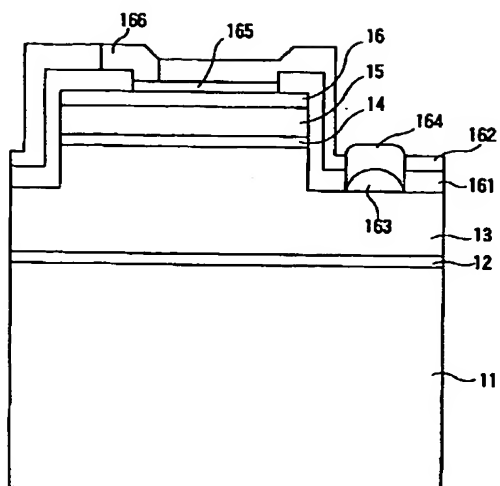
【図6】本発明の第6の実施の形態に係わる窒化物半導体発光素子を表す概略断面図である。

【図7】従来のコンタクト層を備えたLEDを例示した概略断面図である。

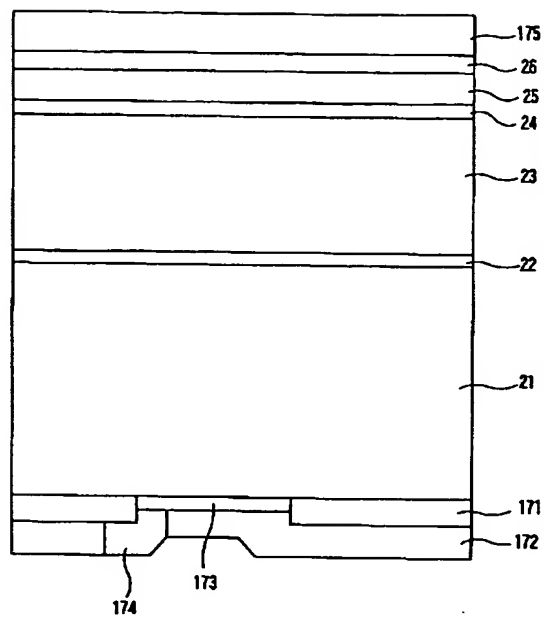
【符号の説明】

11、21、31、41、51、61、111 基板
12、22、32、42、52、62、112 バッファ層
13、23、33、43、53、63、113 n型Ga_N層
34、54、64 n型クラッド層
14、24、35、44、55、65、114 活性層
15、25、36、45、56、66、115 p型クラッド層
16、26、37、46、57、67 変調ドーブ超格子コンタクト層
116 p型Ga_Nコンタクト層
141、142、161、162、171、172、181、182 保護膜
143、163、173、183 n側電極
145、165、175、185 p側電極
144、146、164、166、174、186 ポ

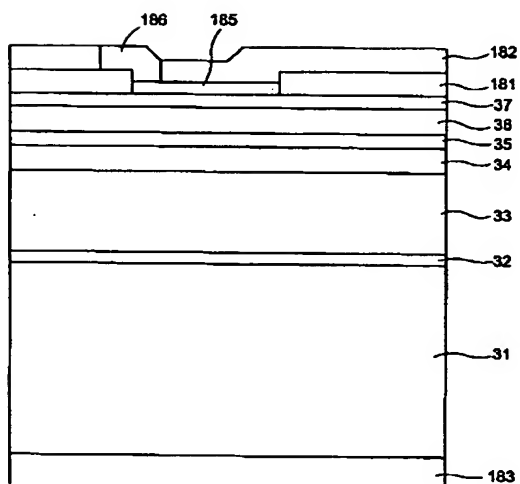
【圖 1】



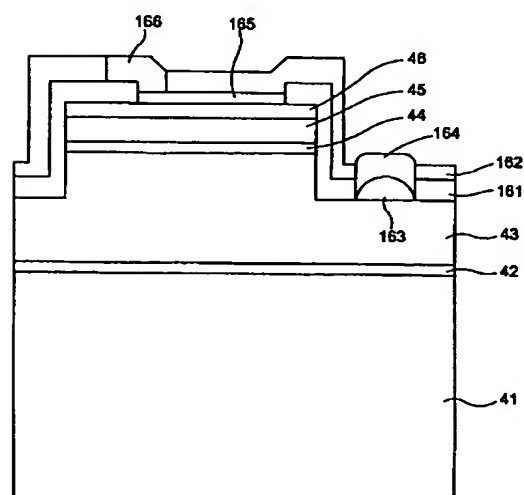
【圖2】



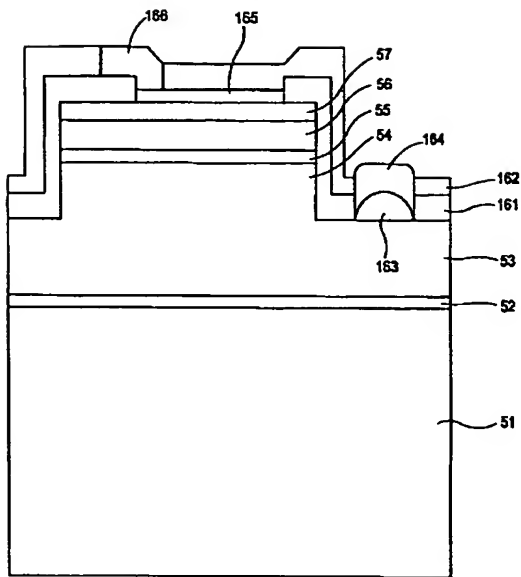
【図3】



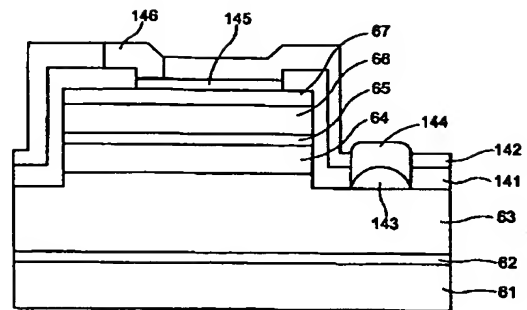
【図4】



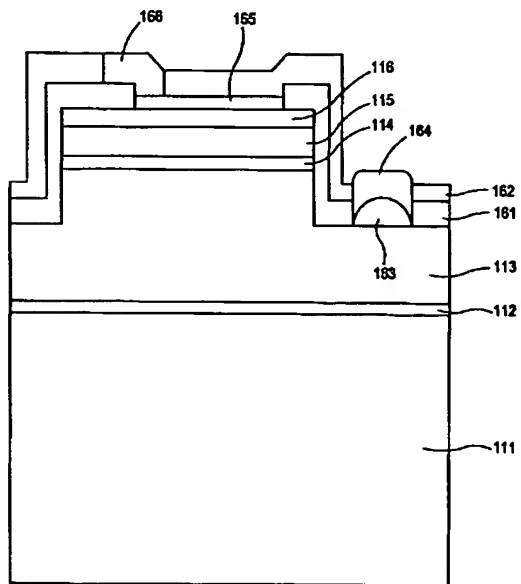
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA21 AA40 AA43 AA44 CA05
CA33 CA34 CA40 CA46 CA53
CA57 CA65 CA74 CA82 CA92
CA99 FF01
5F073 BA09 CA07 CB05 CB07 CB14
CB19 CB22 DA05 DA21 EA07
EA28 EA29